

Asteroit Kuşağındaki Cisimlerin Yörünge Çözümlemesi ve Dinamik İncelemesi

Ömer ÖZCANLI¹, Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR¹, Zehranur YILDIZ¹, Sevgi KAYA¹

¹ Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü,
Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi (AUKR)

1

ÖZET

Bu çalışmada, Ana Asteroit Kuşağı cisimlerinden (849) Ara, (192) Nausikaa ve (198) Ampella'nın Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde (AUKR) elde edilen kısa-yay (short-arc) astrometrik gözlemlerine dayalı olarak ön yörünge (preliminary orbit) tayini gerçekleştirilmiştir. Optik gözlemlerden türetilen gökyüzü konumları; zaman ölçeği ve toposentrik referans sistemi indirgemeleri uygulandıktan sonra, çoklu-başlangıçlı ve doğrusal olmayan Ağırlıklı En Küçük Kareler (WLS) yöntemiyle modellenmiştir. Çözümlenen yörünge parametrelerine ait istatistiksel belirsizlik sınırları (1 σ) 2000 iterasyonlu Monte Carlo simülasyonları ile hesaplanmış; türetilen heliosentrik Kepler elemanları ve astrometrik (O-C) kalıntıları, bağımsız JPL/Horizons efemerisleri kullanılarak doğrulanmıştır. Bulgular, kısa gözlem yaylarının neden olduğu parametrik dejenerasyonlara rağmen, hassas astrometrik indirgeme ve doğru istatistiksel modelleme teknikleriyle fiziksel açıdan tutarlı ön yörünge çözümlerinin elde edilebileceğini ortaya koymaktadır.

2

YÖNTEM

- FITS yükleme
- ASTAP ile WCS çözümü
- Hedef asteroidi seçimi
- Koordinat dönüşümü: ICRS'e geçiş, koordinatların RA-DEC'e dönüştürülmesi
- UTC'den TDB'ye zaman dönüşümü ve ışık-zamanı düzeltmesi
- Toposentrik-heliosentrik referans dönüşümleri
- WLS ile yörünge parametrelerinin optimizasyonu
- İstatistiksel belirsizlik analizi (Monte Carlo)
- JPL/Horizons karşılaştırması

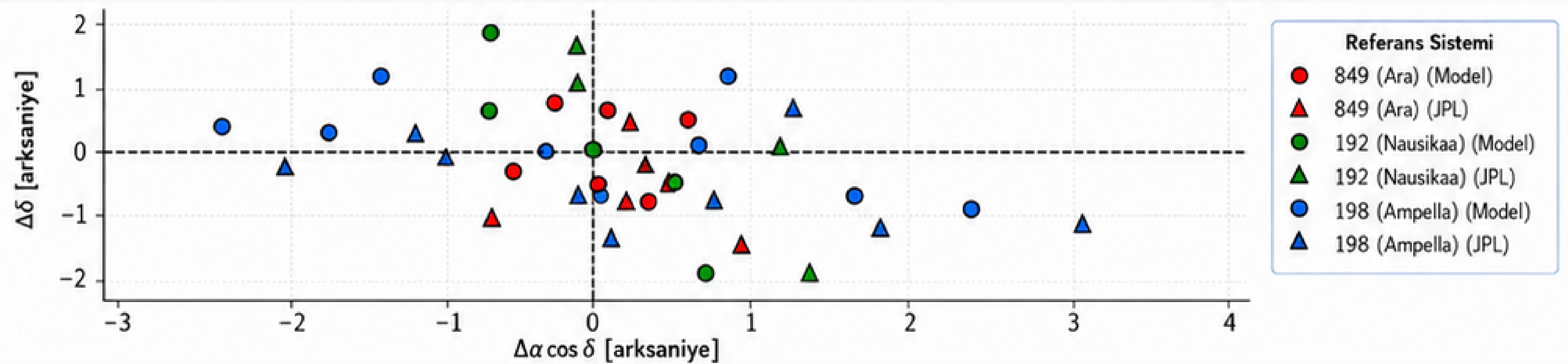
3

ASTROMETRİK DÜZELTMELER

- Zaman ve Geometri İndirgemesi:** Gözlem zamanları orta poz anına göre UTC'den TDB ölçeğine dönüştürülmüş; toposentrik gözlemci konumu ile heliosentrik asteroid hareketi ortak bir uzaysal geometride modellenmiştir.
- Işık-Zamanı Gecikmesi:** Astrometrik konumlara ışık-zamanı (light-time) düzeltmesi, $t_{em} = t_{obs} - \rho/c$ bağıntısı kullanılarak iteratif biçimde uygulanmıştır.
- Astrometrik Kalıntılar:** Gökyüzü düzlemindeki (O-C) konumsal sapmalar, $\Delta\alpha^* = \Delta\alpha \cos \delta$ ve $\Delta\delta$ denklemleri üzerinden değerlendirilmiştir.
- Çoklu-Başlangıçlı Optimizasyon:** Çözüm uzayındaki yerel minimum (local minima) tuzaklarından kaçınmak amacıyla, algoritmaya 30 farklı rastgele başlangıç noktası kullanan doğrusal olmayan WLS çözümü entegre edilmiştir.
- İstatistiksel Analiz:** Yörünge parametrelerinin belirsizlik bütçeleri (1 σ) 2000 iterasyonlu Monte Carlo simülasyonlarıyla modellenmiş; kısa-yaydan kaynaklanan parametrik dejenerasyonlar ise Jacobian SVD analiziyle incelenmiştir.

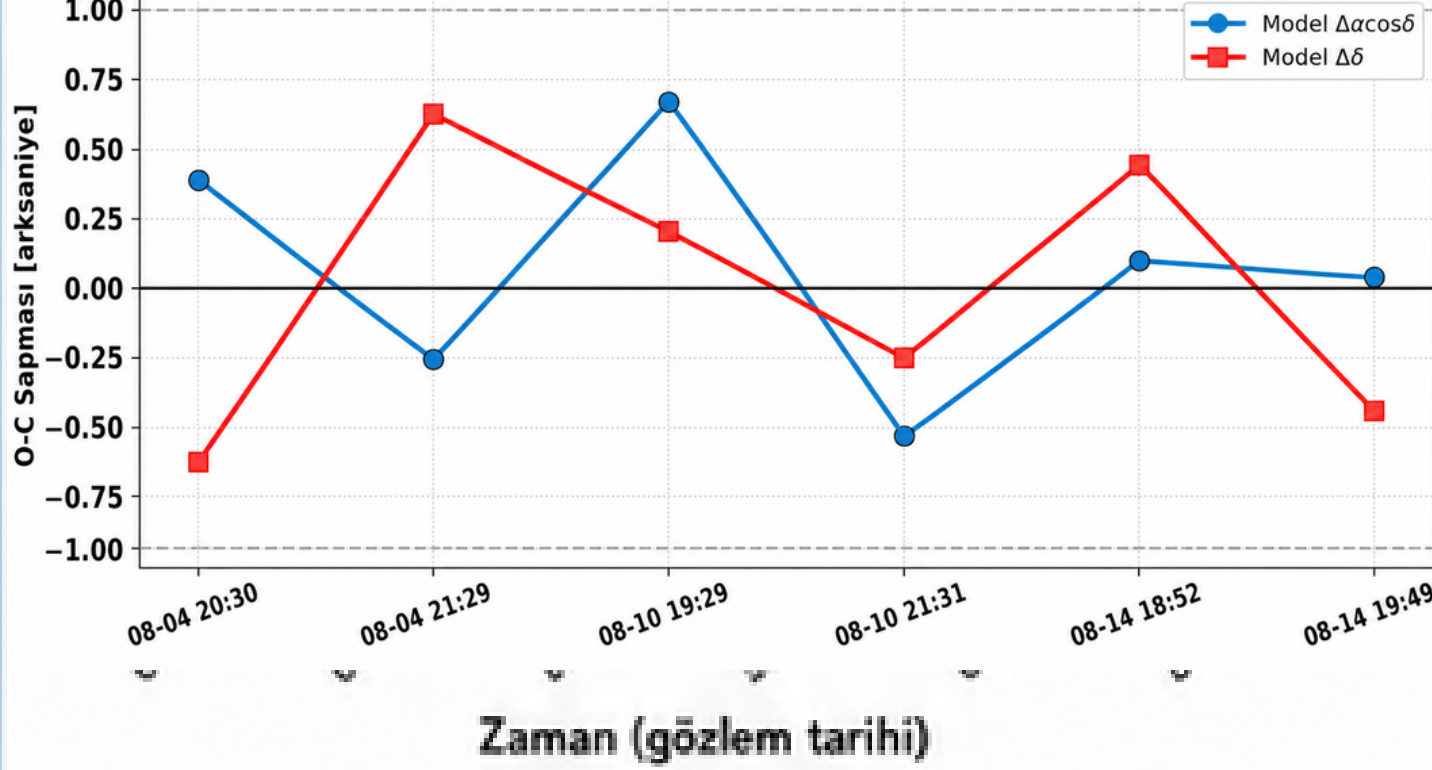
4

ANA KUŞAK ASTEROİTLERİ GÖKYÜZÜ DÜZLEMİ KALINTI DAĞILIMI



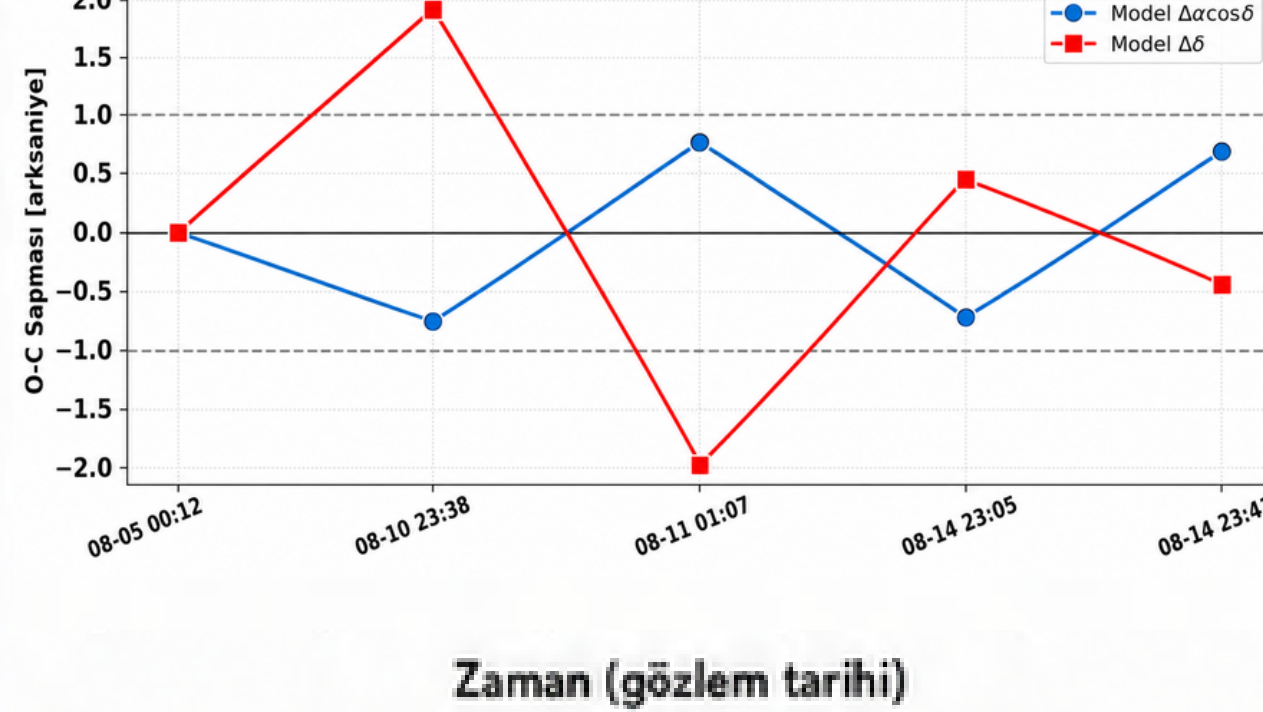
(849) Ara

Astrometrik Kalıntılar - Zaman Serisi (849)



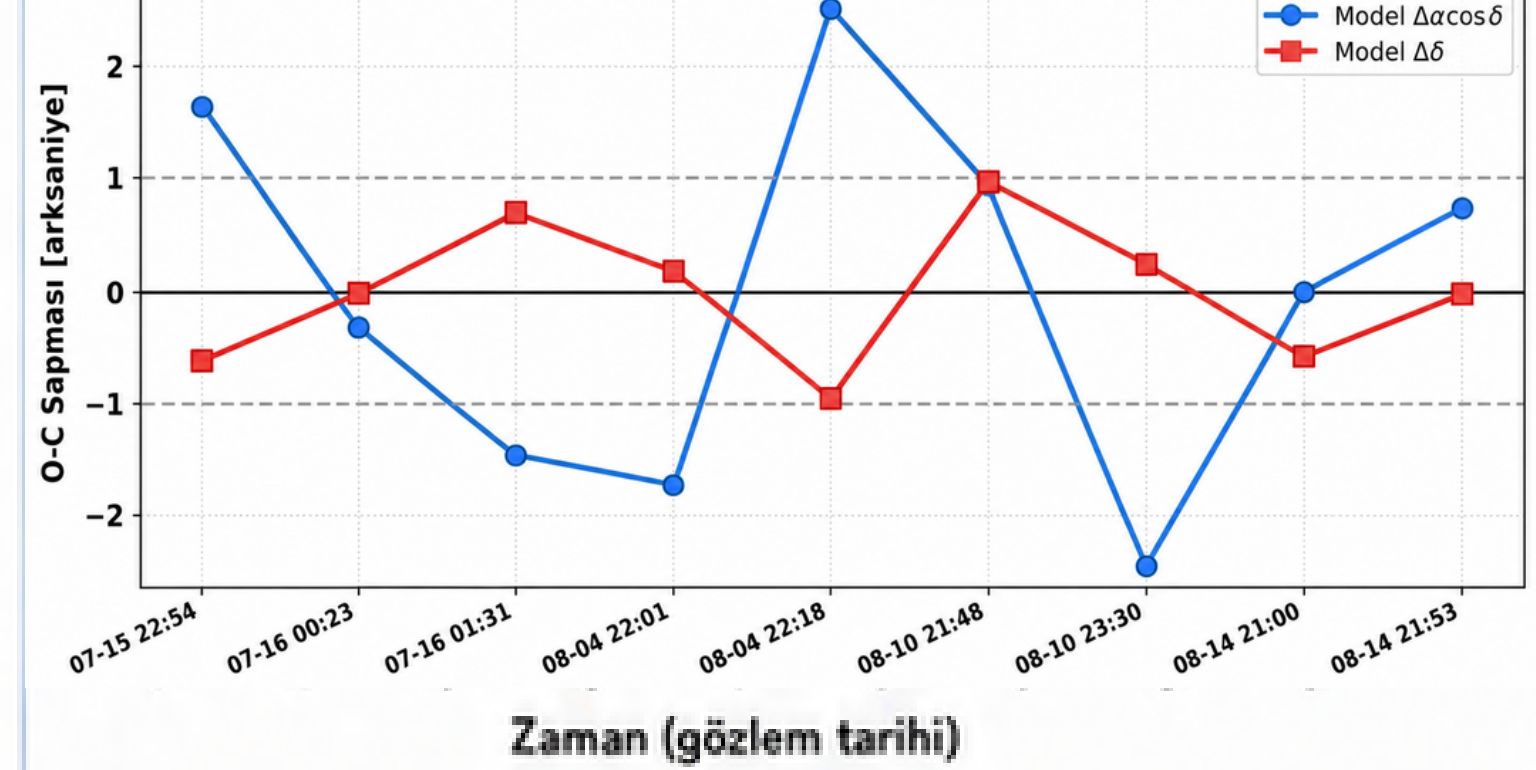
(192) Nausikaa

Astrometrik Kalıntılar - Zaman Serisi (192)



(198) Ampella

Astrometrik Kalıntılar - Zaman Serisi (198)



5

ELDE EDİLEN YÖRÜNGE PARAMETRELERİ

Parametre	(849) Ara	(192) Nausikaa	(198) Ampella
a (AU)	3.18583 ± 0.01611	2.1643 ± 0.02420	2.46170 ± 0.00369
e	0.28776 ± 0.00397	0.24842 ± 0.00788	0.22684 ± 0.00661
i (°)	19.48563 ± 0.04860	5.70960 ± 0.03257	9.31113 ± 0.01617
Ω (°)	227.59856 ± 0.29621	342.8875 ± 0.46065	296.6877 ± 0.05103
ω (°)	66.30290 ± 3.13235	30.08797 ± 2.01498	166.88222 ± 0.41477
M ₀ (°)	154.22424 ± 0.89790	341.58948 ± 2.04261	144.4787 ± 0.26598
P (yıl)	5.268	3.14	3.86

6

JPL / HORIZONS KARŞILAŞTIRMASI

Hedef	a (AU)	Δa	Δi (°)	ΔΩ (°)	Δω (°)	ΔM ₀ (°)
849 (Ara)	0.03680	0.00677	0.04790	0.31657	3.66665	2.28539
192 (Nausikaa)	0.01313	0.00326	0.04884	0.12802	0.51781	0.46342
198 (Ampella)	0.00257	0.00150	0.00149	0.10333	0.39233	0.24272

7

SONUÇ

Gerçekleştirilen yörünge analizleri sonucunda, yörünge boyut ve biçimini tanımlayan temel elemanlarda (a, e, i) JPL/Horizons referans verileriyle yüksek bir dinamik tutarlılık elde edilmiştir. Gökyüzü düzlemindeki (O-C) astrometrik kalıntıların oldukça düşük RMS değerlerinde seyretmesi, uygulanan veri indirgeme tekniklerinin ve doğrusal olmayan optimizasyon (WLS) modelinin fiziksel geçerliliğini net bir şekilde doğrulamaktadır. Kısa gözlem yayının (short-arc) doğasından kaynaklanan doğal açısal parametre korelasyonlarına rağmen; kurulan analitik altyapı, hedeflerin yörüngelerini başarıyla kısıtlamıştır. Bu durum, sınırlı sayıda astrometrik verinin doğru zaman-geometri düzeltmeleri ve istatistiksel analizlerle işlendiğinde, fiziksel açıdan son derece tutarlı ve istatistiksel sınırları belirlenmiş başarılı ön yörünge (preliminary orbit) çözümleri üretebildiğini ortaya koymaktadır.

8

KAYNAKLAR

- ASTAP Documentation (ASTAP Project)
- Giorgini, J. D. et al. (1996–2023). JPL/Horizons System.
- Green, R. M. (1985). Spherical Astronomy.
- Milani, A. & Gronchi, G. F. (2010). Theory of Orbit Determination. Cambridge University Press.
- Curtis, H. D. (2020). Orbital Mechanics for Engineering Students (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

İLETİŞİM

